



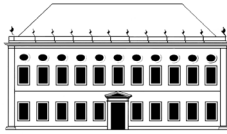
P

ROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES
NA COMUNIDADE DOS PAÍSES
DE LÍNGUA PORTUGUESA

Luís Neves (coord.)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
2018

Versão integral disponível em digitalis.uc.pt



D O C U M E N T O S



Versão integral disponível em digitalis.uc.pt

EDIÇÃO

Imprensa da Universidade de Coimbra
Email: imprensa@uc.pt
URL: http://www.uc.pt/imprensa_uc
Vendas online: <http://livrariadaimprensa.uc.pt>

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Imprensa da Universidade de Coimbra

CONCEÇÃO GRÁFICA

Imprensa da Universidade de Coimbra

IMAGEM DA CAPA

by OmarMedinaFilms
via Pixabay

INFOGRAFIA

Simões e Linhares, Lda.

PRINT BY

CreateSpace

ISBN

978-989-26-1601-8

ISBN DIGITAL

978-989-26-1602-5

DOI

<https://doi.org/10.14195/978-989-26-1602-5>

© OUTUBRO 2018, IMPRENSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

P

ROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES NA COMUNIDADE DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA

Luís Neves (coord.)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
2018

Versão integral disponível em digitalis.uc.pt

COMISSÃO CIENTÍFICA

Alcides Castilho Pereira (Universidade de Coimbra, Portugal)

Ana Letícia Dantas (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Brasil)

Bernardo Maranhão Dantas (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Brasil)

Graciano Paulo (Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra, Portugal)

José Wilson Vieira (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Brasil)

Leticia Campos Rodrigues (Universidade de S. Paulo, Brasil)

Luís Correia (Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa, Portugal)

Luís Figueiredo Neves (Universidade de Coimbra, Portugal)

Maria do Carmo Lopes (Instituto Português de Oncologia de Coimbra, Portugal)

Maria Inês Guimarães (Universidade de S. Paulo, Brasil)

Pedro Vaz (Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa, Portugal)

António Miguel Morgado (Universidade de Coimbra, Portugal)

EDITORIAL

O presente livro resultou de um desafio lançado pela Sociedade Portuguesa de Proteção Contra Radiações e pela Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica aos investigadores e profissionais da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa que exercem atividade neste importante domínio científico. A excelente resposta obtida da Comunidade permitiu trazer à estampa um total de 34 artigos, que se organizam nos seguintes capítulos: Efeitos Biológicos das Radiações, Dosimetria e Instrumentação, Proteção Radiológica em Saúde, Proteção Radiológica dos Trabalhadores e do Público, Emergências Radiológicas, Radioatividade Natural, Radiações não Ionizantes, Educação e Formação em Proteção Contra Radiações, Regulamentação Políticas e Recomendações Internacionais em Proteção Radiológica.

O presente livro constitui um contributo para o conhecimento do estado da arte deste domínio científico nos países de língua portuguesa, correspondendo plenamente aos objetivos idealizados por ambas as Sociedades Científicas. A SPPCR e SBPR exprimem o seu reconhecimento aos elementos da Comissão Científica deste volume, que efetuaram a revisão de todos os artigos submetidos, bem como à Imprensa da Universidade de Coimbra por ter aceite acolher a correspondente edição.

Luís Neves
Presidente da SPPCR

José Marcus Godoy
Presidente da SBPR

ÍNDICE

EDITORIAL.....	5
CAPÍTULO 1 - EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES	13
Avaliação de risco biológico e modelagem de consequências em cenário urbano utilizando equações BEIR VII e simulação por Monte Carlo – estudo de caso	15
Biological risk assessment and modeling of consequences in urban setting using BEIR VII equations and Monte Carlo simulation - case study.....	15
CAPÍTULO 2 - DOSIMETRIA E INSTRUMENTAÇÃO	25
Uso do software DIP para voxelização de fantasmas mesh	27
Use of the DIP software for voxelization of mesh phantoms	27
Efeitos do tamanho de blocos de ossos trabeculares em dosimetria usando modelos computacionais de exposição.....	35
Effects of the size of trabecular bone blocks in dosimetry using exposure computational models.....	35
Tutorial para acoplamento de um simulador de voxels ao código Monte Carlo EGSnrc.....	43
Tutorial for coupling a voxel simulator to EGSnrc Monte Carlo code	43
Construção de Objetos Simuladores Patológicos a Partir de Imagens de Tomografia por Emissão de Pósitrons	53
Simulators Object construction Pathologic From the tomography images by Positron Emissio	53

Representações de ossos trabeculares por imagens TC de sal grosso para avaliações dosimétricas.....	61
Representations of trabecular bones for CT images of rock salt for dosimetric evaluations.....	61
Determinação dos coeficientes de atenuação para feixes de raios X diagnóstico do PLA e do ABS impressos - uma abordagem por simulação com MCNP5	69
Determination of the attenuation coefficients for diagnosis x-ray beam of printed “PLA” and “ABS” - An approach by simulation with MCNP5	69
Desenvolvimento de simulador aplicados a radiodiagnostico e radioterapia utilizando impressora 3D.....	77
Development of phantom applied to radiodiagnostics and radiotherapy using 3D printer	77
Estudo comparativo de sensibilidade entre os dosímetros Fricke Xilenol gel e Alanina Gel.....	85
Comparative study of sensitivity between Fricke Xylenol Gel and Alanine Gel	85
Determinação de radiação alfa e beta total em água para consumo humano por meio da técnica de contador proporcional de fluxo gasoso	95
Determination of total alpha and beta radiation in water for human consumption using the gas-flow proportional counter technique.....	95
Otimização da análise radiométrica de matrizes ambientais por espectrometria gama de alta resolução	103
Optimization for the radiometric analysis of environmental matrices by high resolution gamma spectrometry	103
Avaliação de dosímetros OSL na determinação de curvas de isodose de uma simulação de planejamento de tratamento de vértebra com proteção da medula espinhal utilizando VMAT	111
Evaluation of OSL dosimeters in determining isodose curves of a vertebra treatment planning simulation with spinal cord protection using VMAT	111

Plastic scintillator detectors for real-time patient dose control.....	121
Detetores de plástico cintilante para controlo da dose do paciente em tempo real.....	121
Construção e estudo de um detetor de cintilação para medidas de atividade de fontes naturais extensas.....	131
Construction and study of a scintillation detector for activity measurement of extended natural sources.....	131
Aplicação da técnica de Luminescência Ópticamente Estimulada (OSL) na monitoração de área de uma sala de exame de mamografia.....	139
Application of Optically Stimulated Luminescence (OSL) on area monitoring of a mammography examination room	139
CAPÍTULO 3 - PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM SAÚDE.....	149
A influência da temperatura e do potencial hidrogeniônico das soluções químicas radiográficas na dose de entrada na pele.....	151
Influence of temperature and hydrogenionic potential of radiographic chemical at the entrance skin dose	151
CAPÍTULO 4 - PROTEÇÃO RADIOLÓGICA DOS TRABALHADORES E DO PÚBLICO.....	165
Implantação de programas de monitoração da exposição ocupacional interna em serviços de medicina nuclear no Brasil: Situação atual e perspectivas futuras no escopo do projeto IAEA RLA 9075	167
Implementation of occupational internal exposures monitoring programmes in Nuclear Medicine Clinics in Brazil: Current status and future perspectives in the scope of the IAEA Project RLA 9075	167
A avaliação de dose de radiação ionizante pela CPR 177	177
The evaluation of ionizing radiation dose by the CPR	177
Utilização de linhas de tendencia para estimativa de taxa de dose em tratamentos ambulatoriais de radioiodoterapia com ¹³¹ I.....	191
Utilization of trendlines for dose rate estimate in outpatient treatments of radioiodine therapy with ¹³¹ I	191
Estudo da dosimetria de pulso, dedo e cristalino em radiofarma- cêuticos e auxiliares de enfermagem para ajuste de um fator percentual entre as extremidades	199

Study of wrist, finger and crystalline dosimetry in radiopharmaceuticals and nursing auxiliaries to adjust a percentage factor between the extremities	199
CAPÍTULO 5 - EMERGÊNCIAS RADIOLÓGICAS	207
Gestão de bens de consumo contaminados e comunicação de risco após um acidente radiológico ou nuclear: envolvimento dos “Stakeholders”	209
Stakeholder’s involvement in the management of contaminated consumer goods and risk communication after a radiological or nuclear accident	209
CAPÍTULO 6 - RADIOATIVIDADE NATURAL.....	219
High-frequency variability of radon in a stable indoor environment	221
Variabilidade de alta frequência do radão num ambiente interior estável	221
Medidas de radiação gama in situ para estimar a exposição da população brasileira à radiação	233
Gamma in-situ measurements to estimate the exposure of brazilian population to natural radioactivity	233
Quantification of potassium-40 in soils from São Paulo state conservation units, Brazil	245
Quantificação de potássio-40 em solos de unidades de conservação do estado de São Paulo, Brasil	245
Quantificação de radionuclídeos naturais em solos de um fragmento florestal de Mata Atlântica do Estado de Pernambuco, Brasil	253
Natural radionuclides quantification in soils of an Atlantic Forest forest fragment from the Pernambuco State, Brazil	253
Geocronologia aplicada ao estudo da evolução temporal de contaminação antropogênica no Estuário de Rio Formoso, Pernambuco, Brasil	263
Geochronology applied to the study of the time evolution of anthropogenic contamination in the Estuary of Rio Formoso, Pernambuco, Brazil	263

Análise dos parâmetros radioativos em águas para consumo humano	271
Analysis of radioactive parameters in water for human consumption.....	271
Radioactividade natural na região de Gouveia e de Sameiro (Portugal Central)	281
Natural Radioactivity levels in the Gouveia and Sameiro area (Central Portugal)	281
CAPÍTULO 7 - RADIAÇÕES NÃO IONIZANTES.....	291
Taxa de absorção específica da radiação emitida pelos Google Glasses.....	293
SAR Assessment of Google Glasses.....	293
Campos Magnéticos de Frequências Extremamente Baixas em Veículos Elétricos.....	301
Extremely Low Frequency Magnetic Fields Inside Electric Vehicles.....	301
CAPÍTULO 8 - EDUCAÇÃO E FORMAÇÃO EM PROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES	311
Education and communication on radiological protection: the potential value of information technologies to improve professional skills	313
Educação e comunicação em proteção radiológica: o potencial das tecnologias da informação para o aprimoramento de competências profissionais	313
Estágio de proteção radiológica para profissionais do Quadro de Saúde – 20 anos de ensino de radioproteção no Exército Brasileiro	327
Radiological protection training for Military Health Professionals - 20 years of radiation protection teaching in the Brazilian Army.....	327
Formação e Treino em Proteção Radiológica do Especialista em Física Médica.....	333
Medical Physics Expert Education and Training in Radiation Protection.....	333

informações como, por exemplo, a densidade dos materiais que se desejava simular. Não foram encontradas, na literatura, informações confiáveis a cerca da composição exata e das respectivas densidades do PLA e do ABS. A determinação da composição foi feita por meio do uso da fórmula química (estrutura molecular) dos já referidos materiais. Com a massa de toda a fórmula foi calculada a porcentagem (aproximada) presente de cada elemento. No tocante à densidade, foi utilizado o Método de Arquimedes, que basicamente consistiu da pesagem, utilizando balança de precisão (Instrumentos Científicos C.G. Ltda), de um becker com água destilada (sem corpos de prova de ABS ou PLA) e da pesagem do mesmo volume de água quando adicionado o corpo de prova (de PLA ou de ABS).

Neste trabalho, na simulação com MCNP5, as placas foram consideradas totalmente sólidas, pois não foi possível quantificar os espaços não preenchidos (por PLA ou ABS) nas placas impressas reais. De posse das características do tubo de raios X (por exemplo ângulo anódico) utilizado na irradiação experimental das placas (Laboratório de Calibração de Instrumentos – LCI/GMR/IPEN) foi desenvolvido o cenário utilizado na simulação. A fonte de raios X empregada neste trabalho foi considerada como pontual e o seu espectro de emissão foi gerado através do IPEM-78 Catalogue of Diagnostic X-Ray Spectra and other data. Uma representação (fora de escala) da simulação utilizada neste trabalho pode ser vista na figura 2.

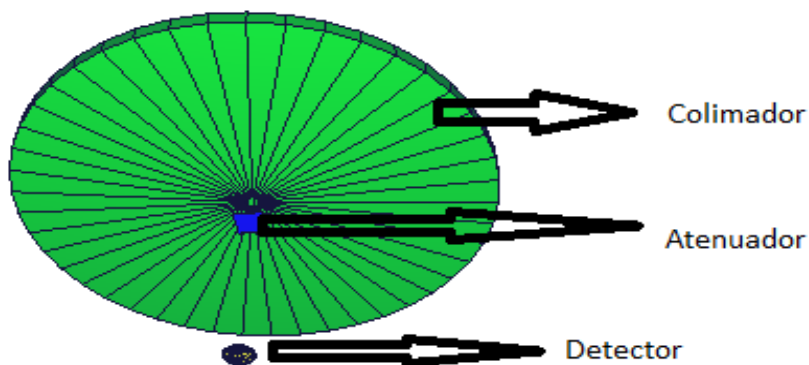


Figura 2. Modelo utilizado na simulação com MCNP5 (Imagem fora de escala)

As simulações foram divididas em dois grupos. No primeiro grupo, foi simulada apenas a irradiação do feixe, sem a presença das placas do material da impressora (atenuador), de modo a que fosse possível que o detector fornecesse a intensidade inicial (I_0) do feixe. No segundo, várias simulações foram feitas, variando-se a espessura das placas de cada material (PLA ou ABS), de modo que o detector fornecesse a intensidade (I) do feixe após ser atenuado. Relacionando os resultados com e sem atenuador foi possível calcular os respectivos coeficientes de atenuação por meio da equação $I=I_0e^{-\mu x}$. Em cada cenário foi modificado o valor atribuído à densidade do material atenuador de modo a que os resultados obtidos por simulação (placas sólidas) melhor se adequassem aos obtidos experimentalmente (placas “quase-sólidas”).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 apresenta o comparativo entre os resultados obtidos neste trabalho (empregando MCNP5) e os obtidos experimentalmente.

Tabela 1. Comparativo entre os valores obtidos empregando MCNP5 e os valores obtidos experimentalmente

	RESULTADOS							
	RQR3		RQR 5		RQR 8		RQR 10	
Material	Experimental	MCNP5	Experimental	MCNP5	Experimental	MCNP5	Experimental	MCNP5
ABS	0.020	0.0211	0.018	0.0185	0.016	0.0168	0.014	0.0149
PLA	0.029	0.0287	0.024	0.0239	0.021	0.0208	0.017	0.0179

Já eram esperadas pequenas divergências entre os resultados obtidos com simulação MCNP5 e os obtidos experimentalmente, uma vez que as placas irradiadas experimentalmente e as simuladas eram diferentes no que diz respeito ao preenchimento, sendo classificadas como “quase-sólidas” e sólidas, respectivamente.

De modo a adequar os resultados obtidos neste trabalho com aqueles obtidos experimentalmente, foi criado um fator de correção a partir da divisão entre o resultado obtido experimentalmente e o resultado obtido via simulação com MCNP5. Os valores dos fatores de correção obtidos podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 2. Fatores de Correção (Divisão entre resultados experimental e resultado simulado)

Material	RQR 3	RQR5	RQR 8	RQR10
ABS	0.946073794	0.973499189	0.950683304	0.938967136
PLA	1.009046625	1.002506266	1.007194245	0.945494994

4. CONCLUSÕES

Pode ser concluído, a partir dos resultados obtidos, que a simulação computacional desenvolvida representa adequadamente as placas confeccionadas em impressora 3D.

As diferenças encontradas entre os resultados experimentais e os obtidos neste trabalho (tabela 1) podem indicar a importância dos espaços vazios (não preenchidos de PLA ou ABS) nas placas impressas reais, os quais podem influenciar a atenuação e/ou o espalhamento do feixe de radiação. Sendo, por tanto, necessário um estudo mais aprofundado do comportamento do feixe de radiação

na presença de objetos impressos 3D (em PLA ou ABS), de modo a que se possa afirmar que estes sejam utilizáveis na confecção de objetos simuladores de aplicações diversas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e à FAPESP Projeto no. 2010/16437-0 pelo apoio financeiro.

Referências

- Franchetti, S. M. M., & Marconato, J. C. (2006). Polímeros biodegradáveis-uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. *Química Nova*, 29(4), 811.
- International Electrotechnical Commission. *Medical Diagnostic X-ray Equipment – Radiation Conditions for use in the Determination of Characteristics*, IEC 61267, Geneva, 2005.
- Kairn, T., Crowe, S. B., & Markwell, T. (2015). Use of 3D Printed Materials as Tissue-Equivalent Phantoms. In *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, June 7-12, 2015, Toronto, Canada (pp. 728-731). Springer International Publishing.
- Landi, T. R., & de Andrade, L. G. (2003). Estudo do efeito da radiação ionizante com feixe de elétrons sobre terpolímero Acrilonitrila Butadieno Estireno-ABS. *Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, Brasil.*
- UP! 3D Brasil. UP! User Manual. Disponível em:< http://www.bcstecnologia.com.br/cariboost_files/UP_Plus_2_User_Manual-PT_BRV2.pdf>. Acesso em:01 nov 2015.
- VENEZIANI, G. R.; CORREA, E.L.; POTIENS, M.P.A.; CAMPOS, L.L.. Attenuation coefficient determination of printed abs and pla samples in diagnostic radiology standard beams. In: 8° Congresso Brasileiro de Metrologia. 29 nove.bro à 4 de dezembro, 2015. Bento Gonçalves, RS

**DESENVOLVIMENTO DE SIMULADOR APLICADOS A
RADIODIAGNOSTICO E RADIOTERAPIA UTILIZANDO
IMPRESSORA 3D**

**DEVELOPMENT OF PHANTOM APPLIED TO
RADIODIAGNOSTICS AND RADIOTHERAPY USING
3D PRINTER**

G. R. VENEZIANI – veneziani@usp.br (IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Gerência de Metrologia das Radiações).

O. RODRIGUES JR. – (IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Gerência de Metrologia das Radiações).

R. K. SAKURABA – (Sociedade Beneficente Israelita Brasileira – Hospital Albert Einstein (HAE)).

L. L. CAMPOS – (IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- Gerência de Metrologia das Radiações).

PALAVRAS-CHAVE: Impressora 3D, Simuladores, Material tecido equivalente.

RESUMO: Nesse trabalho foi avaliada a viabilidade do uso de impressora 3D (FDM) e materiais tecido equivalentes para o desenvolvimento de simuladores para serem aplicados em radioterapia e/ou diagnóstico. Os resultados avaliados por CT foram bastante promissores e abrem caminho para o desenvolvimento de simuladores personalizados e de baixo custo.

KEYWORDS: 3D printer, Phantom, Equivalent Tissues.

ABSTRACT: In this study we evaluated the feasibility of using 3D printer (FDM) and tissue equivalent material to the development phantoms to be used in radiation therapy or diagnosis. Results evaluated by CT were quite promising and open the way for the development of custom phantoms and low cost.

1. INTRODUÇÃO

Simuladores são utilizados em física médica ou medicina para representarem o corpo humano desde os mais simples, como os simuladores de água, até aos mais complexos, como o antropomórfico, e se tornaram essências no controle de qualidade tanto na área de imagens quanto na área dosimétrica (DeWerd, 2014).

Nos anos 2000 as impressoras 3D ganham espaço na área médica: implantes dentais, modelos anatômicos. Alguns trabalhos utilizam a impressoras 3D em radioterapia para melhorar o tratamento (C. LEE, 2014; HESPEL, 2014).

Atualmente existem diversos modelos de impressora 3D no mercado, a mais comumente comercializada é a tecnologia Fused Deposition Modeling (FDM) que utiliza material termoplástico como ABS (Acrilonitrila butadieno estireno) e PLA (ácido poliláctico) e realiza a impressão por deposição de material camada por camada.

O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade do uso de impressora 3D FDM e de materiais tecido-equivalente no desenvolvimento e criação de simuladores fidedignos aos modelos reais para a utilização nas áreas de radioterapia e/ou diagnóstico.

2. MÉTODO

Primeiramente foram impressos moldes cilíndricos (10 cm e raio 1 cm) de ABS para padronizar todas as amostras testadas (Figura 1). Baseando-se em alguns materiais citados como tecido equivalente pela ICRU 44 e outros escolhidos intuitivamente por atenderem alguns das características necessárias, tais como viscosidade, custo, acessibilidade, facilidade de manuseio e sólido à temperatura ambiente.

2.1 Primeiro teste realizado com os materiais escolhidos

As substâncias testadas deveriam atender a algumas características importantes, como a homogeneidade, ser sólida em temperatura ambiente, viscosidade (fundamental para penetrar ao longo de toda estrutura a ser preenchida com o material tecido equivalente) e baixo custo.

Baseando-se na literatura e intuitivamente foram realizadas tomografias computadorizadas ((CT) GE lightspeed 16 canais, protocolo de crânio) dos materiais selecionados para avaliação para verificar o número Hounsfield (HU) de cada um. Os materiais testados foram resina de poliéster fabricada por DuLatex; borracha de Silicone BB1 fabricada por DuLatex; parafina com pó de arroz fino (peneira granulométrica malha 300); parafina com papel alumínio granulado; parafina com pó de arroz grosso (peneira granulométrica malha 200); resina de poliéster com 30% de CaCO_3 ; parafina; parafina com CaCO_3 ; parafina com Iodo; massa gelatinosa infantil (geleca amoeba); massa de modelar infantil respectivamente (Figura 1a).

2.2 Segundo teste realizado com materiais escolhido

Posteriormente à análise dos resultados obtidos no primeiro teste, os materiais mais promissores foram mantidos e novos materiais adicionados para o segundo teste.

Os materiais submetidos à CT nessa etapa foram: gelatina balística caseira (62,5% água, 31,5% glicerina, 6% gelatina incolor Royal®); gelatina balística 270 Bloom (62,5% água, 31,5% Glicerina, 6% gelatina suína 270 bloom); massa gelatinosa infantil (geleca amoeba); borracha de silicone BB1 fabricada por DuLatex; massa gelatinosa infantil (geleca amoeba) artesanal; resina de poliéster com 60% CaCO₃; resina de poliéster com 80% CaCO₃ respectivamente (Figura 1b).



Figura 1. (a)- primeiro teste e (b)- segundo teste, realizados com materiais tecido equivalentes submetidos à CT para verificação da homogeneidade e número Hounsfield (HU) de cada composto testado.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos através da tomografia computadorizada dos materiais testados nos dois testes estão apresentados na Figura 2 (a) e (b) respectivamente, a olho nu não é possível distinguir com clareza qual material melhor se aproxima do tecido, por isso, é necessário através do software do próprio equipamento mapear o valor HU e a homogeneidade de cada material testado.

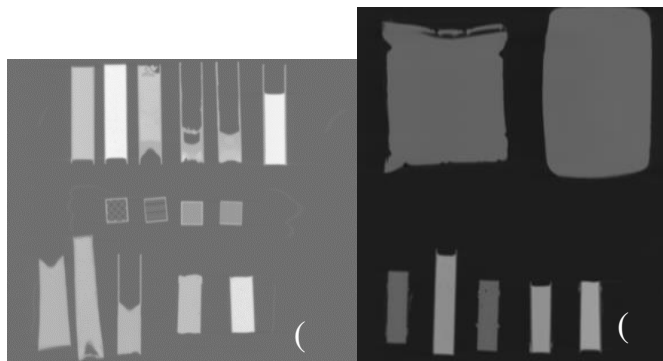


Figura 2. (a) – tomografia realizada nos materiais do primeiro teste; (b)– tomografia realizada nos materiais do segundo teste.

A escolha do material tecido equivalente deu-se pela proximidade do HU do material em relação ao HU do tecido real, alguns materiais tiveram resultado com HU próximo ao tecido, porém a homogeneidade ao longo do corpo de prova foi insatisfatória excluindo alguns elementos.

Os compostos escolhidos foram a gelatina balística (270 Bloom) com valor aproximadamente 85 ± 8 HU para simular tecido muscular e resina de poliéster com 80% de carbonato de cálcio com valor de 963 ± 15 HU para simular tecido esquelético.

Com os materiais tecido equivalentes definidos foi impresso em impressora 3D um protótipo de membro pélvico canino e preenchido com esses dois materiais simulando a estrutura óssea e a estrutura muscular (Figura 3). Posteriormente foi realizada uma tomografia computadorizada e utilizado software de reconstrução (Figura 4).

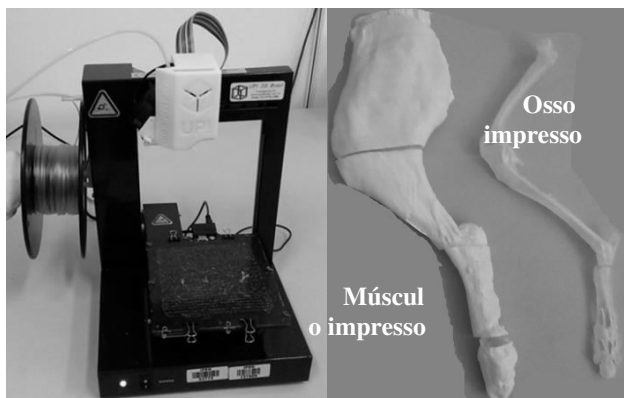


Figura 3. Protótipo de simulador impresso na impressora 3D UP plus2 em ABS e posteriormente preenchido com material tecido equivalente para realização da tomografia computadorizada.

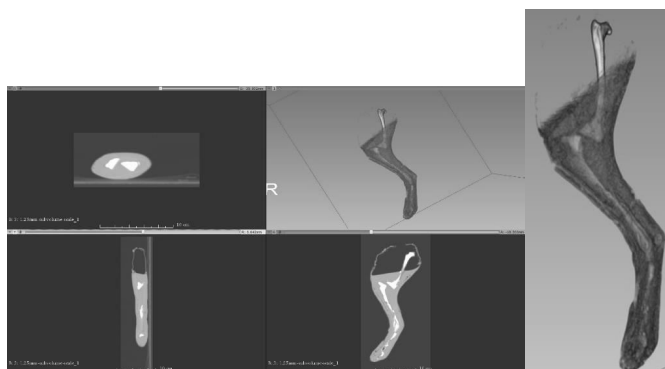


Figura 4. Tomografia computadorizada do protótipo de simulador impresso em 3D e preenchido com material tecido equivalente. Reconstrução do protótipo de simulador reconstruído a partir das imagens do CT.

4. CONCLUSÕES

Os materiais tecidos equivalentes selecionados se mostraram bastante promissores pelos resultados obtidos através da análise

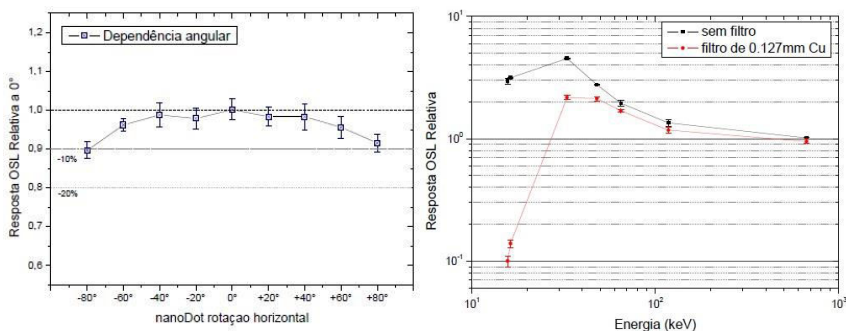


Figura 2. (a) Dependência angular da resposta OSL dos nanoDots™ para a qualidade N-80. (b) Resposta OSL do sistema Tandem em função da energia – relativa à ¹³⁷Cs.

As variações de resposta OSL dos dosímetros, para diferentes inclinações, relativas a 0°, estão demonstradas na Figura 2a. Pode ser observado que a dependência angular da resposta não superara $11,9 \pm 2,3$ % para feixe diagnóstico. Na Figura 2b pode ser observado o perfil Tandem de dependência energética da resposta OSL dos nanoDots™ relativa a ¹³⁷Cs, que apresenta comportamento de acordo com o fabricante (Perks et al., 2007). A Figura 3 demonstra os resultados obtidos com os nanoDots para o perfil de distribuição de dose no campo do mamógrafo.

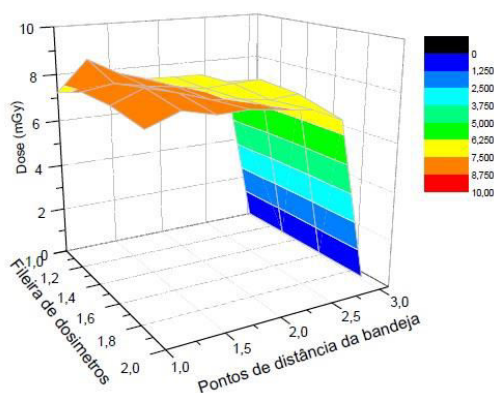


Figura 3. Perfil de distribuição da dose de entrada.

Analisando a Figura 3, o perfil de distribuição do campo de radiação do mamógrafo está dentro do esperado, podendo ser observado o Efeito Heel causado pela posição catodo-anodo do arranjo do mamógrafo. Esse mesmo comportamento foi obtido experimentalmente por Corrêa et al. (2013), utilizando dosímetros de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$.

Os valores de dose de entrada na pele e de espalhamento obtidos são apresentados na Tabela 2. Pode ser observado que na frente do mamógrafo foi avaliado um valor de dose maior que nas laterais, justificáveis pelo Efeito Heel do arranjo, e pela não utilização do cone colimador durante os disparos.

Tabela 2. Dose de entrada na pele (DEP) e radiação espalhada para os pontos de medida

	Dose de entrada (mGy)	Direita (mGy)	Esquerda (mGy)	Frente (mGy)	Trazeira (mGy)	Posição do Operador (mGy)
Média de 4 leituras	8,283	1,558	1,538	1,956	0,119	0,077
σ de 4 leituras	0,006	0,020	0,020	0,018	0,004	0,002

No cálculo das energias efetivas por meio da curva Tandem, as incertezas totais foram de $\pm 26\%$, que denota a sua eficácia no auxílio da estimativa da energia efetiva do feixe pelo qual os dosímetros foram expostos.

4. CONCLUSÕES

Considerando os resultados podemos concluir que os nanoDots, junto com o sistema comercial OSL Inlight System apresentam comportamento linear no intervalo de dose estudado, com dependência energética na região de Efeito Fotoelétrico. A dependência angular da resposta não superara $11,9 \pm 2,1\%$. A curva tandem obtida concorda com a do fabricante, e auxilia na avaliação da energia efetiva do fei-

xe. O perfil de distribuição do campo de radiação do mamógrafo está dentro do esperado, podendo ser observado o Efeito Heel causado pela posição catodo-anodo.

A dose de entrada na pele, na técnica escolhida, foi de $8,283 \pm 0,006$ mGy. As doses médias obtidas foram: laterais, $1,545 \pm 0,02$ mGy, na frente $1,956 \pm 0,018$ mGy, valores justificáveis pelo Efeito Heel e a não utilização do cone colimador para os disparos, na parte trazeira, $0,119 \pm 0,04$ mGy e na posição do operador, valores de medidas de fundo ambiental. Por fim, pode-se concluir também que o sistema apresenta valores de estabilidade e repetibilidade que atendem as exigências nacionais (CASMIE/IRD) para serem aplicados para monitoração de área de feixe de radiodiagnóstico.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CNEN, CNPq e FAPESP Projeto no. 2010/16437-0 pelo apoio financeiro; à SAPRA Landauer pelas amostras OSL e suporte técnico científico; e ao LCI /IPEN pelas irradiações.

Referências

- Akselrod, M.S. et al. (2007) – Optically stimulated luminescence and its use in medical dosimetry. *Radiation Measurements*. v. 41, pp. 78-99.
- CASMIE/IRD (1995) – Desempenho de sistemas de monitoração individual – Critérios e Condições. Instituto de radioproteção e dosimetria. Comissão Nacional de Energia Nuclear. 01/10/95 IRD-RT N°002.01/95. 38 p.
- Corrêa, E.L. et al. (2013) – Intensity variation study of the radiation field in a mammographic system using thermoluminescent dosimeters TLD-900 (CaSO₄:Dy). *Radiat. Phys. Chem.* 95. pp. 116-118.
- McKeever S.W.S. (2011) – Optically stimulated luminescence: A brief overview. *Radiation Measurements*. v. 46, pp. 1336-1342.
- Perks, C. A., Le Roy, G. and Prugnaud, B. (2007) – Introduction of the InLight monitoring service. *Radiat. Prot. Dosimetry* 125(1-4), pp. 220-223.

CAPÍTULO 3
PROTEÇÃO RADIOLÓGICA
EM SAÚDE

**A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DO POTENCIAL
HIDROGENIÔNICO DAS SOLUÇÕES QUÍMICAS
RADIOGRÁFICAS NA DOSE DE ENTRADA NA PELE**

**INFLUENCE OF TEMPERATURE AND HYDROGENIONIC
POTENTIAL OF RADIOGRAPHIC CHEMICAL
AT THE ENTRANCE SKIN DOSE**

R. VASCONCELOS – beca.vasconcelos@yahoo.com.br (Graduada em Tecnologia em Radiologia pelo Insituto Federal da Bahia - IFBA, Campus Salvador)

M. OLIVEIRA – marcusradiology@gmail.com (Insituto Federal da Bahia - IFBA, Departamento de Tecnologia Aplicada a Saúde e Biologia)

F. RAMOS – fernando_siramos@hotmail.com (Graduado em Tecnologia em Radiologia pelo Insituto Federal da Bahia - IFBA, Campus Salvador)

G. LOPÉZ – guillermolopez@ifba.edu.br (Insituto Federal da Bahia - IFBA, Departamento de Tecnologia Aplicada a Saúde e Biologia)

P. GEAMBASTIANI – paulogeambastiani@hotmail.com (Insituto Federal da Bahia - IFBA, Departamento de Tecnologia Aplicada a Saúde e Biologia; Tecnólogo Líder do Hospital Português da Bahia – Grupo Delfin)

PALAVRAS-CHAVE: imagem radiográfica, processamento químico, dose de entrada na pele.

RESUMO: O objetivo do presente estudo foi identificar a influência da alteração do potencial hidrogeniônico (pH) e da temperatura das soluções químicas, em exames que utilizam os sistema tela-filme, na dose de entrada na pele (DEP). O estudo foi realizado com as soluções químicas já utilizados em 02 instituições públicas

que dispunham de revelação automatizada (processadora). Foi utilizado um pHmêtro com termômetro da marca HANNA, modelo 21 pH/mV meter, calibrado em solução própria para medições alcalinas (pH 10) e ácidas (pH 4), um phantom antropomórfico, modelo PIXY RS-111, Radiology support devices, utilizado para simular técnicas radiológicas para estudo do tórax , software Caldose_X versão 5.0 para quantificar a dose de entrada na pele (DEP) e software Image J, versão 1.49e para avaliação da qualidade da imagem. Os critérios observados foram: mensuração da temperatura e pH das soluções químicas saturadas, devido à utilização e imediatamente após sua troca; parâmetros técnicos utilizados nas exposições; valores de DEP e razão sinal-ruído das imagens resultantes de cada uma das aquisições. A utilização das soluções químicas com o pH e os valores de temperatura diferentes resultaram no prejuízo da qualidade da imagem demandando incremento nos fatores de exposição para garantir-lhes maior nitidez e contraste na imagem. As doses na entrada da pele variaram entre as instituições e também se mostraram dependentes do pH e da temperatura. A alteração da temperatura e do pH, indicam a saturação das soluções químicas, exigindo como fator compensatório, a elevação dos fatores de exposição, resultando em maior DEP. É necessário a realização periódica do controle da temperatura e do pH das soluções químicas radiográficas.

KEYWORDS: radiographic image, chemical processing, entrance skin dose.

ABSTRACT: The aim of this study was to identify the influence of the change in hydrogenionic potential (pH) and temperature of radiographic chemical, in exams using the screen-film system, at the entrance skin dose (ESD). The study was conducted

with the chemicals used in 02 public institutions that had automated revelation (processing). A pH meter was used with HANNA thermometer 21pH/mV meter model, calibrated in own solution for alkaline measurements (pH 10) and acidic (pH 4), an Antropomorphic phantom, PIXY RS-111 model, Radiology support devices used to simulate radiological techniques to study the chest, Caldose_X version 5.0 software to quantitate the entrance dose in the skin (ESD) and image J software version 1.49e to evaluate image quality. The criteria used were: measurement of temperature and pH of the saturated due to chemical use and immediately after his change, technical parameters used in radiographs, ESD values and signal to noise ratio of the resulting images of each acquisition. The use of chemicals with different pH and temperature resulted in the loss of image quality demanding increase in exposure factors to make them more sharpness and contrast in the image. Doses in the skin entry varied between institutions and also showed pH dependent and temperature. The change of temperature and pH indicate saturation of chemicals, requiring a compensatory factor, the increase in exposure factors, resulting in higher ESD. The periodic holding of the temperature control and pH of radiographic chemical is required.

1. INTRODUÇÃO

A imagem radiográfica é uma importante ferramenta complementar utilizada em diagnósticos na área da saúde, devido à baixa complexidade é indicada para diferentes suspeitas patológicas. Porém, apesar do advento dos sistemas radiográficos digitais, muitos serviços públicos de saúde no Brasil ainda fazem uso do sistema tela filme (Grigoletto et al., 2011), por conta de seu baixo custo e ampla disponibilidade comercial do equipamento (Mota et al., 2012).

O processamento das imagens geradas em sistemas radiológicos que utilizam a combinação tela/filme, ocorre mediante a utilização de duas substâncias químicas, que proporcionam como resultado, a transformação dos cristais de íons de prata expostos do filme em prata metálica (Ues et al., 2008). Logo, a qualidade destas soluções químicas implicará diretamente na qualidade da imagem visível (Pistóia et al., 2004), tendo em vista que a escolha adequada dos fatores de exposição não será o único atenuante na formação da imagem convencional (Junior, 2010).

Entretanto, para que o processamento químico da imagem convencional ocorra de forma adequada, faz-se necessário levar em consideração critérios estabelecidos pelos fabricantes para estas substâncias, dentre estes o potencial hidrogeniônico (pH) e a temperatura, pois a qualidade da imagem, a reprodutibilidade de resultados e as doses fornecidas aos pacientes dependem do tempo de processamento, da preparação e temperatura corretas dos produtos químicos (Osibote et al., 2007).

O pH é definido como concentração de íons de hidrogênio presentes em uma solução, quando igual ao logaritmo negativo (10^{-7}) é classificado como neutro, pois permite que os íons hidrogênio sejam neutralizados pelos íons hidroxila. O termo “pH” expressa a intensidade da condição ácida ou básica de um determinado meio. É definido como o cologarítmo decimal da concentração efetiva ou atividade dos íons hidrogênio (Monteiro et al., 2012). Sendo assim, o pH fornece indícios sobre a qualidade hídrica e indica a acidez ou a alcalinidade das soluções químicas (Matheus et al., 1995).

Por outro lado, a temperatura altera o equilíbrio de dissociação da água, facilitando a quebra da ligação entre oxigênio e hidrogênio. O aumento da temperatura aumenta a atividade dos íons hidrogênio e desloca o equilíbrio químico da água, tornando-a mais ácida. Logo, a redução da temperatura, resulta em aumento do pH,

um plano estratégico de educação e treino e que este fosse expandido a uma audiência profissional mais ampla a nível nacional.

4. CONCLUSÕES

Com a realização desta iniciativa, concluiu-se que a credibilidade da informação e de quem a comunica são fundamentais para que exista confiança nas decisões adoptadas pelas autoridades. Como tal, é necessário um diálogo constante entre todos os potenciais intervenientes na gestão de situações de emergência e na pós-emergência. Todas as partes envolvidas devem ter a preocupação em conseguir comunicar de forma clara e eficaz, através de uma linguagem comum, questões técnicas e científicas, incluindo os media.

Identificou-se ainda a necessidade de promover a realização de ações de formação nas áreas da percepção do risco e na gestão de situações de emergência, que incluam a execução de exercícios envolvendo todos os stakeholders.

Agradecimentos

O projeto PREPARE – “ Innovative integrative tools and platforms to be prepared for radiological emergencies and post-accident response in Europe” recebeu financiamento do 7º Programa-Quadro EURATOM ao abrigo do contrato nº 323287.

Referências

- PREPARE Project (2012), [Online], Available: <http://www.prepare-eu.org/index.php?action=prepare&title=objctives> [28 Apr 2016].
- PREPARE (2012), Description of Work: “PREPARE - Innovative integrative tools and platforms to be prepared for radiological emergencies and post-accident response in Europe”, 7th Framework Programme, pp. 3-61, 2012

CAPÍTULO 6
RADIOATIVIDADE NATURAL

**HIGH-FREQUENCY VARIABILITY OF RADON IN
A STABLE INDOOR ENVIRONMENT**

**VARIABILIDADE DE ALTA FREQUÊNCIA DO RADÃO
NUM AMBIENTE INTERIOR ESTÁVEL**

S. M. BARBOSA – susana.a.barbosa@inesctec.pt (INESC Tecnologia e Ciência)

F. LOPES – (IDL, Universidade de Lisboa, Portugal)

A. C. PEREIRA – (CEMUC, Department of Earth Sciences, Univ. Coimbra, Portugal)

L. F. NEVES – (CEMUC, Department of Earth Sciences, Univ. Coimbra, Portugal)

KEYWORDS: gamma radiation, radon progeny, time series, indoor air quality.

ABSTRACT: Indoor air quality is of paramount importance for the health and well-being of human populations and is a recognized public health concern. In particular Radon (Rn-222) is an ubiquitous indoor air pollutant that seeps into indoor environments by diffusive and mainly advective migration from radon-rich subsoil. Indoor radon measurements are often performed with passive dosimeters measuring the average radon concentration over a given period of time. However, these integrated measurements are not able to provide any information on the temporal variability of indoor

radon concentration. This work examines the high-frequency temporal variability of indoor radon concentration from gamma radiation measurements obtained with an NaI(Tl) scintillation sensor. The measurements are taken at the University of Lisbon under stable environmental conditions, in a dedicated closed room at ground level. The measured indoor radon concentration has an average value of 195 Bq.m⁻³ and displays very small changes, typically inferior to 1%. Albeit small, these changes are characterised by a rich temporal pattern comprising both a periodic diurnal signal, a non-periodic component correlated with the room's temperature, as well as a weekly pattern reflecting the occupation pattern of the building on weekdays.

PALAVRAS-CHAVE: radiação gama, progenia do radão, séries temporais, qualidade do ar interior.

RESUMO: A qualidade do ar interior é de suprema importância para a saúde e bem estar das populações humanas, e um risco de saúde reconhecido. Em particular o Radão (Rn-222) é um poluente atmosférico ubíquo que se infiltra em ambientes interiores por difusão e principalmente advecção a partir de solos enriquecidos em radão. A medição de radão em ambientes interiores é em geral efetuada utilizando dosímetros passivos que medem a concentração média de radão ao longo de um dado período de tempo. No entanto, estas medidas integradas não permitem obter informação sobre a variabilidade temporal da concentração de radão no interior. Neste trabalho é analisada a variabilidade temporal de alta frequência da concentração de radão a partir de medições de radiação gama com um cintilómetro de NaI(Tl). As medições foram efetuadas na Universidade de Lisboa em condições

ambientais estáveis, numa sala fechada num nível térreo. A concentração interior de gás radão tem um valor médio de 195 Bq.m⁻³ e exhibe variações muito pequenas, tipicamente inferiores a 1%. Apesar de pequenas, estas variações são caracterizadas por uma estrutura temporal complexa que inclui um sinal diurno periódico, uma componente não periódica relacionada com a temperatura da sala, assim como um padrão semanal que reflete os padrões de ocupação do edifício nos dias de semana.

1. INTRODUCTION

Radon (Rn-222) is an ubiquitous indoor air pollutant and an established human carcinogen. Indoor radon measurements are often performed with passive dosimeters. However, these integrated measurements are not able to provide any information on the temporal variability of indoor radon concentration. Passive measurements performed for consecutive seasons (Papp et al, 2001) as well as continuous measurements (e.g. Miles, 2001) indicate that indoor radon variability displays a complex temporal pattern, probably reflecting the interplay of multiple factors such as occupancy patterns and meteorological factors. While for health concerns the main interest is on average exposure levels, it is also relevant to examine the temporal changes around mean radon levels. The present study addresses the high-frequency variability of indoor radon concentration in an unoccupied room from the analysis of hourly time series of gamma radiation measurements.

2. METHODS

The study area is located in the center of the city of Lisbon, corresponding from the geological point of view to the lower Tagus Cenozoic sedimentary basin (mainly detritic sediments), locally with alluvium cover. Indoor monitoring is performed in a ground-level dedicated room located in the University of Lisbon. The building is not equipped with air conditioning but has in operation an energy recovery ventilation system. The room selected for the monitoring study was specifically conceived for handling analogical aerial photography, therefore having no windows. Furthermore, the main entrance is preceded by a small antechamber, increasing the isolation of the main room and enhancing the maintenance of stable environmental conditions. The room was not used during the experiment, in order to reduce the influence of occupancy patterns in the results.

The average radon concentration in the room was previously measured during a 2 months period using passive CR39 sensors yielding an average radon concentration of 195 Bq.m⁻³. Continuous monitoring is performed using an NaI(Tl) scintillation sensor of 3" x 3" (Scionix, Holland) measuring gamma radiation in the range 475 KeV to 3000 KeV. The sensor measures the gamma radiation from the radioactive decay of the radon progeny Pb-214 and Bi-214, as well as the background contribution from U-238, Th-232 and K-40. The temporal variability of the gamma radiation reflects directly the temporal variability of radon above a constant background, since only radon, as a gas, is able to be transported and change in time. Therefore, and because of their high sensitivity, gamma sensors are particularly advantageous for continuous radon monitoring, the results being directly comparable with direct measurements of the alpha particles emitted by Rn-222, Po-218 and Po-214 (Barbosa et al, 2010; Zafrir et al, 2011; 2013).

Gamma radiation is measured every minute during a 21-days period, from 13 June to 3 July 2013. Furthermore, air temperature is simultaneously measured, both inside the room (near the gamma sensor) and outside (in the room's antechamber). Ancillary observations of hourly atmospheric pressure values are obtained from the Politécnica meteorological station in Lisbon. The 1-minute time series are aggregated into hourly values by computing the median of the measurements over every hour. The resulting hourly time series are considered hereafter.

3. RESULTS

The hourly time series of gamma counts, air temperature and atmospheric pressure are displayed in Figure 1. The radon progeny variations are small (typically < 2%), but with a clear diurnal cycle. The two temperature series are very similar but not identical, and the difference, defined as the interior minus the exterior temperature series, exhibits a clear weekly pattern, with a strong 24h cycle on week days. The atmospheric pressure series from Lisbon shows the expectedly weak 12h and 24h cycles superimposed on a well defined multi-day pattern.

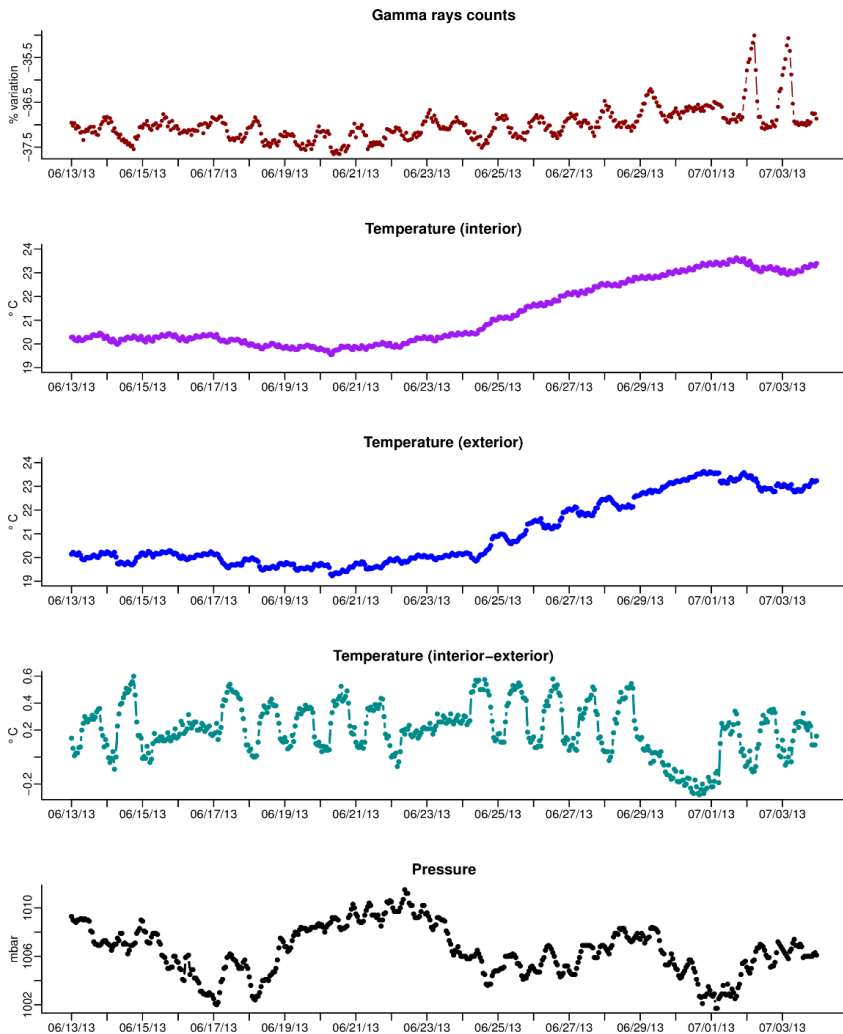


Figure 1. Time series of gamma ray counts variations, temperature, and atmospheric pressure.

The time series of gamma counts is dominated by two large diurnal peaks at the end of the monitoring period, on the 2nd and 3rd July. A possible explanation would be the occurrence of pre-

Com o “boom” do desenvolvimento técnico científico anteviu-se que aquelas recomendações necessitavam de alterações e algum detalhamento, razão pela qual a publicação número 1 da ICRP foi substituída em 1996 pelo de número 9 e o IAEA resolveu editar em 1967 sua primeira edição na série “Safety Series” com o número 9.

2. MÉTODOS

Foi realizado um estudo profundo das publicações de número 1, 2, 9, 22, 26, 30, 60 e 103 da ICRP e das publicações 9, 9 (edição de 1982), 115 e GSR parte III para que possa ser entendido como as filosofias do sistema de limitação de dose foram evoluindo. Em seguida foi realizado um confronto entre as publicações 1 da ICRP com a publicação número 9 também da ICRP, publicação número 9 da ICRP com a publicação número 9 da ICRP, publicação número 9 da ICRP com a publicação número 9 do IAEA, publicação número 2 da ICRP com a publicação número 30 da ICRP, publicações número 1, 2, 9 da ICRP e publicação número 9 do IAEA com as publicações número 26 e 30 da ICRP e a publicação número 9 do IAEA (edição de 1982), publicação número 60 da ICRP com a publicação número 115 do IAEA, publicação número 103 da ICRP com a publicação número GSR parte III para identificar as informações análogas ou semelhantes, informações da ICRP que não constam no IAEA e informações do IAEA que não constam na ICRP.

3. RESULTADOS

Durante nossa investigação nas publicações pertinentes do IAEA e da ICRP foram encontradas as três categorias de informações:

as análogas ou semelhantes, da ICRP que não constam no IAEA e informações do IAEA que não constam na ICRP. O estudo realizado foi por deveras extenso e aqui ressaltaremos algumas informações que julgamos suficientes para se fazer entender o estudo em questão. Iniciaremos na ordem cronológica das publicações pertinentes que se dá do confronto da publicação número 1 da ICRP com a de número 9 da ICRP.

Um grande avanço constatado em relação as duas publicações foi com relação as categorias de exposição, onde na publicação número 1 da ICRP encontramos as seguintes: a) Trabalhadores regularmente expostos à radiação; b) Trabalhadores ocasionalmente expostos a radiação e c) Membros do público. A publicação número 9 da ICRP, que fornece muito mais informações a respeito, reduz estas categorias para duas, a saber: A) Adultos expostos no decorrer de seu trabalho e B) Membros do público.

A redução das categorias de indivíduos expostos à radiação é um fator muito importante, pois a categoria (b) da publicação número 1 englobava visitantes, prestadores de serviços e manutenção e deviam obedecer aos limites de dose do público. Com a publicação número 9 estes grupos foram separados pois o grupo (A) engloba só os trabalhadores expostos no decorrer de seu trabalho e, portanto, foram excluídos os visitantes, prestadores de serviços e pessoal de manutenção que poderiam adentrar em áreas controladas quando não há a presença da fonte de exposição, os demais devem obedecer aos limites dos trabalhadores.

Com relação a Limitação da Dose, destacaremos algumas informações inovadoras que estão contidas somente na publicação número 9 da ICRP. Em situação de emergência o limite de dose dos trabalhadores para o corpo inteiro foi diminuído de 12 rem para 2 vezes o limite anual, isto é, 10 rem. O que não se justifica, pois vai contra a equação da idade evocada em muitas situações. Outro assunto que julgamos importante é que, quase sempre são neces-

sários para detectar situações anormais no trabalho, instrumentos de alerta, que são mencionados na publicação número 1 e não são mencionados na publicação número 9, grande falha.

A seguir discutiremos as informações observadas durante o confronto das publicações número 9 da ICRP e número 9 do IAEA. Com relação a limitação da dose para o público, A publicação 9 da ICRP é mais extensa a respeito dos indivíduos do público do que aquela do IAEA, fornecendo as seguintes informações omitidas pelo do IAEA:

- Crianças em idade inferior a 16 anos tem seu limite anual de dose diminuído para 1,5 rem/ano em vez de 3 rem/ano.
- Define grupo crítico para os indivíduos do público e informa que os limites de dose se aplicam a ele.
- Exames médicos em mulheres com capacidade de reprodução, envolvendo radiação ionizante, devem ser realizados, na medida do possível, nos primeiros 10 dias após o começo da menstruação. Seguiremos agora discutindo o confrontamento da publicação número 2 da ICRP e de número 30, também da ICRP.

Ambas as publicações se dedicam nos ajudar em diversos cálculos de dose em diversos órgãos. A grande diferença observada entre elas é que na publicação número 2 obtêm-se o resultado de dose absorvida no ano da exposição, porém, nestes cálculos não estão inclusas as doses que provem da mesma exposição no decorrer dos anos, para isto deveria ser feito um novo cálculo. A publicação número 30 supera este dilema, incluindo em seus cálculos as possíveis doses decorrentes da mesma exposição para os anos que seguem, porém, esta dose não é registrada de forma fracionada durante os anos em que o indivíduo receberia esta dose e sim no mesmo ano da exposição. O que conseqüentemente prejudica ao registrar a dose anual do trabalhador, pois fica entendido que a dose que ele estará recebendo no decorrer dos anos ele recebeu em um único ano.

Passaremos agora a uma análise entre as publicações número 1, 2 e 9 da ICRP e 9 do IAEA edição de 1967, que seguem a Filosofia dos Limites Anuais Máximos Permissíveis (LAMP) com as publicações também da ICRP 26 e 30, que seguem a nova Filosofia, que a chamaremos de Limites Anuais Máximos Admissíveis (LAMA) para facilitar o estudo. Antes de discutirmos a nova filosofia devemos estabelecer como premissa o porquê se tornou necessária a sua mudança. Uma série de fatos propiciaram esta mudança, mas dentre eles destacaremos alguns que consideramos vitais:

Os efeitos biológicos considerados completamente aleatórios, como os cânceres e o encurtamento da vida, na realidade não eram tão aleatórios e imprevisíveis assim, mas obedeciam as leis das probabilidades e da estatística. O encurtamento da vida não pode ser provado para os seres humanos e deixou de ser considerado. Para explicar o aparecimento dos cânceres induzidos pela radiação ionizante surgiu a teoria alvo. Em síntese, esta teoria está alicerçada no tiro ao alvo pela qual o tiro seria a radiação ionizante e o alvo a célula. Se o tiro, radiação ionizante, acertasse a célula em seus pontos vitais, ela morreria, mas em caso contrário poderia ser lesada e vir a morrer tempo depois ou sobreviver, ao ferimento. Neste último caso poderia ser, em virtude da lesão, uma célula diferenciada das demais e se o patrimônio de divisão celular não for prejudicado dar origem a descendentes diferenciados que após várias gerações de divisão apareceriam clinicamente diagnosticáveis como câncer. Como qualquer radiação ionizante, por menor energia que tenha, é suficiente para lesar as células, devemos admitir que o processo oncogênese é sem limiar, ou em outras palavras, qualquer dose por menor que seja faz mal e, portanto, deve ser reduzida. Para conseguir a redução de dose deveria se modificar a filosofia do Sistema de Limitação de Dose, isto é, devemos melhorar as condições de proteção até chegarmos a um valor de dose cujo risco, por ser considerado

muito pequeno, é aceitável. Este valor de risco é conhecido como nível de registro.

Em segundo lugar quando surgiu a primeira publicação de nº 22 ⁽⁶⁾ da ICRP estávamos em plena crise do petróleo que trouxe uma série de consequências econômicas mundiais muito graves. Este fato, também, deveria ser levado em consideração e, portanto, propiciou a introdução da nova filosofia, LAMA.

O novo sistema de limitação estabelece os limites anuais máximos admissíveis, LAMA, para o trabalhador e para o público. O limite da população como um todo foi eliminado uma vez que foi analisada a dose dos grupos críticos recebidas nos países mais desenvolvidos e todas elas apresentavam doses iguais ou inferiores a 1mSv/a e uma dose média de 0,5 mSv/a e, portanto, o valor estipulado para a população como um todo nunca seria alcançado.

Estes limites anuais só são admitidos se forem justificados e enquanto se mantiverem otimizados. Doses superiores aos LAMA para trabalhadores e indivíduos do público são inaceitáveis. O princípio da justificação e principalmente o princípio da otimização, isto é, que as doses devem ser mantidas otimizadas é que nos fazem com que a proteção seja cada vez melhorada até alcançarmos os valores de dose considerados aceitáveis. O princípio da justificação nos proíbe a introdução de atividades para as quais o prejuízo sanitário é superior ao benefício recebido pela sociedade com a introdução daquela atividade e o princípio da otimização também conhecido como princípio ALARA “as low as reasonable achievable”, tão pequenas quanto racionalmente exequível, nos impõe a diminuição contínua das doses

Discutiremos agora alguns assuntos pertinentes originados do confronto entre as publicações número 26 e 30 da ICRP contra a publicação número 9, edição de 1982 do IAEA. Um dos fatores que julgamos pertinente mencionar entre estas publicações

é referente as categorias de exposição. Nas publicações 26 e 30 as categorias de exposição tornam a mudar, e são: Exposições Ocupacionais; Exposições Médicas e Outras exposições. Com familiaridade com a primeira categoria falaremos um pouco da segunda, que obriga o uso dos princípios de proteção radiológica, justificação, otimização e limitação da dose, para estas exposições, exceto para o público. O IAEA, em sua publicação de número 9, edição de 82, não comenta a respeito destas categorias, deixando pré suposto que são as mesmas da ICRP, porém durante os artigos que tratam de limites de dose ele entra profundamente em outro assunto, que são os tipos de limites: Primários, secundários, derivados e autorizados, mas não enfatizam estas categorias descritas pela ICRP.

Passaremos agora a citar alguns itens de interesses encontrados no confronto da publicação de número 60 da ICRP e a 115 do IAEA. Dentre inúmeros assuntos, julgamos pertinente discorrer sobre os Efeitos Biológicos, onde na publicação nº 60 nos são apresentados vários estudos nos laboratórios de todo o mundo que resultaram em uma riqueza de informações concernentes aos efeitos biológicos das radiações em número muito maior do que aqueles associados a qualquer outro perigo ambiental. Assim ela divide estes efeitos biológicos em dois, a saber: Efeitos determinísticos e Efeitos Estocásticos. O IAEA por sua vez descreve os mesmos dois feitos, porém ele discute um terceiro efeito, o qual ele denomina de Outros Efeitos a Saúde, que podem ocorrer em crianças devido a exposição do embrião ou do feto.

Por fim, do estudo comparativo entre as publicações número 103 da ICRP e GSR parte III do IAEA, onde esta última apresenta uma série de exigências a serem cumpridas, exigências estas nos quais poucas se encontram implícitas na publicação da ICRP. A grande vantagem é que na publicação do IAEA tudo se encontra organizado por assunto possibilitando fácil consulta, diferente

da ICRP, onde o leitor deveria ler todo o capítulo para ter uma noção de como proceder.

4. CONCLUSÃO

É uma tarefa árdua seguir apenas um dos órgãos competentes, ficou evidente que os estudos realizados pela ICRP, que envolve principalmente os aspectos de proteção e segurança, diferem daqueles utilizados pelo IAEA, que visa a regulamentação de uma instalação e os padrões regulamentadores. O acordo entre o IAEA e a ICRP tornou impossível para o gerente de quaisquer serviço radiológico ou instalação basear-se apenas nas normas do IAEA, pois tudo o que diz respeito a radiobiologia está descrito nas recomendações da ICRP, os quais o IAEA adota, porém não publica em suas normas e também não os referencia. Ainda assim notamos que corriqueiramente o IAEA fala sobre assuntos que diz respeito a proteção radiológica, de maneira a complementar algo que a ICRP deixou de dizer, para que assim satisfaça seus critérios.

Foi observada a maneira ao qual os assuntos são apresentados, a ICRP costuma a trazer textos ou muito longos, ou muito resumidos e para aqueles temas aos quais a Comissão julga necessária uma revisão (para aquilo que ela mesmo diz) ela cita “estudos em andamento”, dos quais acabam não aparecendo em publicações seguintes. Por outro lado, apesar de não apresentar seus assuntos de forma básica, como faz a ICRP o IAEA mostra-se muito mais prático, não mostrando tantos texto, e sim tópicos, que servem como guia de consulta rápida, mas nem sempre satisfazem a necessidade e o entendimento do leito.

Na questão das substituições e supressões que foram encontradas por parte da ICRP em suas publicações, acreditamos que signifique pura falha dos confeccionadores das publicações, devido a rotativi-

dade desta equipe, que sempre muda a cada publicação, mudando assim várias ideias e ponto de vista, bem como a afinidade por diversos assuntos.

Referências

- International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 1958, (ICRP Publication 1).
- International Commission on Radiological Protection, Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation, 1959, (ICRP Publication 2).
- International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 1966, (ICRP Publication 9).
- International Atomic Energy Agency. Basic Safety Standards for Radiation Protection, Vienna, 1967. (Safety Series No. 9)
- International Commission on Radiological Protection, Implications of commission Recommendations that Doses be kept as Low as Readily Achievable, 1973, (ICRP No. 22)
- International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP Vol. I No. 03, 1977, (ICRP 26)
- International Commission on Radiological Protection, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. Oxford, Pergamon, 1978 a 1980, (ICRP 30)
- International Atomic Energy Agency. Basic Safety Standards for Radiation Protection, Vienna, 1982 edition. (Safety Series No. 9)
- International Commission on Radiological Protection, 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Oxford, Pergamon, 1991, (ICRP 60)
- International Atomic Energy Agency. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of radiation Sources – A Safety Standard, Vienna, 1997, (Safety Series No. 115)
- International Commission on Radiological Protection, the 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 2007, (ICRP 103)
- International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards – Interim Edition, Vienna, 2011, (No. GSR Part 3 – Interim)

LUÍS NEVES é Professor Catedrático do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra. Doutorado em Mineralogia, Petrologia e Geoquímica, desenvolve trabalho de investigação no domínio da radioatividade natural, sendo detentor de algumas dezenas de publicações científicas internacionais neste domínio. É presidente da Sociedade Portuguesa de Proteção Contra Radiações.